

# EL ANALISIS ECONÓMICO DE LOS RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA<sup>1</sup>

Jorge Lopera Palacios<sup>2</sup>

## Introducción

Como se argumentó en otros capítulos de estas lecturas, la demanda de tecnología y por ende la aceptación y adopción de la misma por parte de los productores, depende, en gran medida, de los aspectos económicos relacionados con la escasez o abundancia relativa de los recursos productivos que se manifiesta a través de sus precios relativos y costos de oportunidad. De esta argumentación se desprende la importancia de tener en cuenta los aspectos relacionados tanto en el diseño como en el análisis de los resultados de la investigación.

La necesidad de apoyarse en los métodos estadísticos para el diseño de un experimento y para el análisis de los resultados, es una verdad de aceptación general en la comunidad científica desde hace mucho tiempo. No ha ocurrido lo mismo en relación con el análisis económico, cuya incorporación a los procesos de investigación ha sido más lenta aun- que ya tiene bastante aceptación. Pero, una vez que el investigador se percata de la importancia de los aspectos económicos surgen varias preguntas: ¿Qué clase de análisis?, ¿Cómo hacerlo? , ¿Cuándo hacerlo?

Para iniciar la discusión de este tema, suponga que se ha terminado un experimento, de cuyos resultados existe un interés en realizar una comparación de un determinado tratamiento contra un testigo, sus costos pueden haber resultado mayores, iguales o menores que los del testigo; los rendimientos del tratamiento pueden, a su vez, ser mayores, iguales o menores que los del testigo, y esta diferencia puede haber sido definida como estadísticamente diferente de cero, o no, para un determinado nivel de probabilidad de error (o de significancia). Se pueden combinar estos dos criterios como en el Cuadro 1.

Cuando el investigador no encuentra una diferencia estadísticamente significativa (y mayor) en los rendimientos, se podría sentir tentado a descartar los resultados y considerar el experimento como un fracaso (y de hecho esto quizá ha sido una práctica común). Sin embargo, puede dar origen a una recomendación útil al cruzar el análisis estadístico con una comparación de costos.

---

<sup>1</sup> Capítulo tomado de 'Lecturas sobre economía campesina y desarrollo tecnológico'. Corpoica. 1999.

<sup>2</sup> [jlopera@express.net.co](mailto:jlopera@express.net.co) Fundación para el desarrollo empresarial del sector agropecuario, FUNDESAGRO. Bogotá, Colombia.

**Cuadro 1.** Resultados posibles a comparar un tratamiento experimental con un tratamiento testigo.

<b>COSTO</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>SIGNIFICANCIA ESTADISTICA</b>	<b>CASO N°</b>	<b>RECOMENDACION</b>
MAYOR	MAYOR	Si	1	Hacer análisis marginal Beneficio/costo
MAYOR	MAYOR	No	2	Al anterior, adicional análisis de riesgo
MAYOR	IGUAL	No se aplica	3	Descartar nuevo tratamiento
MAYOR	MENOR	Si	4	Descartar
MAYOR	MENOR	No	5	Descartar
IGUAL	MAYOR	Si	6	Aceptar nuevo tratamiento
IGUAL	MAYOR	No	7	Aceptar
IGUAL	IGUAL	No se aplica	8	Decisión basada en otros criterios
IGUAL	MENOR	Si	9	Descartar
IGUAL	MENOR	No	10	Descartar
MENOR	MAYOR	Si	11	Aceptar
MENOR	MAYOR	No	12	Aceptar
MENOR	IGUAL	No se aplica	13	Aceptar
MENOR	MENOR	Si	14	Hacer análisis marginal Beneficio/costo
MENOR	MENOR	No	15	Al anterior, adicionar análisis de riesgo

## Los Costos y la Rentabilidad como criterios de Decisión

Por ejemplo, si los costos del nuevo tratamiento son iguales o menores que los del testigo y los rendimientos mayores, se puede dar una recomendación de aceptar el nuevo tratamiento, sin importar si la diferencia es, a nivel estadístico, significativa o no (casos 6, 7, 11 y 12 de la tabla); en ninguno de estos casos se corre el riesgo de pérdida como consecuencia de la decisión. De igual manera, es beneficioso aceptar el nuevo tratamiento si el costo es menor y el rendimiento es igual (caso 13). Por otra parte, si el costo es igual y el rendimiento también (caso 8), no hay un criterio económico para hacer la selección, y en este caso se utilizarían otros criterios de decisión (conveniencia, preferencias personales, entre otros).

Tampoco es difícil la decisión cuando los costos del nuevo tratamiento son mayores y los rendimientos iguales o menores (casos 3, 4 y 5). Aquí se descarta el tratamiento y no es necesario preguntar si la diferencia es estadísticamente significativa o no. Igual sucede cuando los costos son iguales y los rendimientos menores (casos 9 y 10).

Después de haber despachado los casos fáciles, quedan los difíciles (Casos 1, 2, 14 y 15). Tomemos en primer lugar el Caso 1. El rendimiento es mayor y la diferencia es estadísticamente significativa, pero a la vez, el costo también es mayor. ¿Se debe recomendar a los productores? El simple hecho de ofrecer mayores rendimientos físicos no es garantía de que su adopción sea beneficiosa para los productores; para responder a este segundo asunto es necesario hacer un análisis económico, comparando los beneficios adicionales que el tratamiento promete (valor monetario del rendimiento adicional) contra los costos adicionales en que es necesario incurrir para asegurar estos beneficios.

Por ejemplo, se supone que la introducción de la fertilización en frijol implica una inversión de \$105.000 y permite aumentar los rendimientos en 225 kg/ha, los cuales se pueden vender (precio de campo al productor) a \$ 800/kg. Esto implica un ingreso bruto adicional de \$180.000 y una utilidad bruta adicional (antes de descontar costos del capital) de \$75.000 atribuible al fertilizante.

La rentabilidad de esos \$105.000 invertidos en la fertilización será entonces del 71,4%; si el capital se puede obtener, por decir, a un costo equivalente al 25% por semestre, quedaría un amplio margen para cubrir los costos de la inversión y todavía dejar una ganancia (En este caso los costos del capital serían de  $\$105.000 \times 0,25 = \$26.250$  y la ganancia neta sería entonces de \$48.750).

Si se supone que esa fertilización en frijol sólo hubiera producido un aumento de 150 kg en los rendimientos, la utilidad bruta adicional sólo habría sido de \$15.000 y la rentabilidad de la inversión habría sido del 14,3%. Con el mismo costo de capital del 25% semestral se habría tenido una pérdida después de des- contar los

costos del capital. (Costos de capital:  $\$105.000 \cdot 0,25 = \$26.250$ ; beneficios netos antes de descontar costo del capital:  $\$15.000$ . La pérdida habría sido de  $\$11.250$ ).

El análisis que se acaba de hacer con respecto a este caso, es ilustrativo de una técnica muy utilizada en economía, el cálculo de la tasa de retorno marginal, como tipo de análisis parcial en el cual sólo se tienen en cuenta los efectos de introducir un cambio a un proceso ya establecido, sin necesidad de hacer un análisis exhaustivo de todas las variables involucradas en el proceso global. De manera similar se haría el análisis del caso número 14, en el cual la pregunta que hay que responder es la de, si vale la pena sacrificar en algo los rendimientos, a cambio de una reducción en los costos.

Finalmente quedan, los casos 2 y 15, en los cuales las diferencias no fueron «estadísticamente significativas». En primer lugar, ¿Qué significa esta expresión? Cuando en un análisis estadístico se hace la prueba de hipótesis, contrastando la hipótesis nula («no existe diferencia entre los rendimientos del tratamiento experimental y el testigo; las diferencias observadas se deben a error experimental») contra la hipótesis alterna («las diferencias observadas son verdaderas y no se deben a error experimental»), la decisión de aceptar o rechazar la hipótesis nula está también sujeta a error. Se puede aceptar la hipótesis nula siendo falsa o, rechazarla siendo verdadera. ¿Qué probabilidad hay de que esto ocurra?

### **La Significancia del Nivel de Significancia en el Análisis Estadístico**

En el caso número 2, a pesar de que hay una diferencia entre los dos tratamientos se dijo que ésta no es significativa. Esto quiere decir que no hay suficiente evidencia en contra de la hipótesis nula para que no haya inclinación a rechazarla y, por consiguiente, se acepta. ¿Cómo se pesa esa evidencia para tomar la decisión? ¿Cómo se decide si la evidencia es suficiente o no? Aquí entran en juego las probabilidades de error. Por tradición, se han utilizado por convención los niveles de probabilidad de error del 5% y del 1% como criterios de corte para rechazar la hipótesis nula.

Si la probabilidad de error al rechazar la hipótesis nula es del 5% o menos, se dice convencionalmente que la diferencia entre los tratamientos es «estadísticamente significativa» y por lo tanto se rechaza la hipótesis nula. Si esta probabilidad de error es muy pequeña, menor del 1 %, se dice que la diferencia es «altamente significativa». Decir entonces que la diferencia entre el tratamiento experimental y el testigo no es significativa quiere decir tan sólo que la probabilidad de error al rechazar la hipótesis nula no es del 5% ni menor que este valor, y en esto sólo se sigue una convención generalmente aceptada; no es algo que sea intrínseco a la naturaleza de las cosas.

¿Por qué se quiere exigir que la probabilidad de error esté por debajo del 5%. En realidad todos en la vida diaria, para muchas de las decisiones que toman, aceptan probabilidades de error que están por encima de ese mágico 5%. Un caso trivial: supongamos que tengo sed y deseo tomar alguna bebida. Se me ofrecen dos alternativas: jugo de guanábana o limonada.

Debo tomar una decisión optando por una de estas bebidas. Estoy muy indeciso. Como no tengo criterios objetivos para decidir, termino por lanzar una moneda al aire: cara, limonada; sello, jugo de guanábana. Salió sello. Acabo de tomar una decisión con un 50% de probabilidad de error.

Podría suceder que el jugo de guanábana me cayera mal al estómago, que me produjera gases o acidez o que por alguna otra razón fuera a arrepentirme de haberlo tomado (o viceversa, si hubiera salido cara y hubiera tomado la limonada).

Pero al tomar la decisión usando la moneda acepté una probabilidad del 50% de equivocarme en esa decisión. ¿Fue irracional haber tomado una decisión con tan alto margen de probabilidad de error, (no del 5% sino del 50%? El punto clave para responder a esta pregunta reside en que se trata de un asunto trivial: el costo de cometer un error en esta decisión es prácticamente despreciable, y por consiguiente no se justifica el costo de recoger información adicional para disminuir la probabilidad de error. Puedo convivir con una probabilidad de error del 50%.

Si vamos al otro extremo, se supone que la decisión se refiere a un componente vital en la computadora que regula el vuelo de una nave espacial que recorrerá la órbita del planeta Marte con una tripulación de tres hombres a bordo. Esta misión representa una inversión de miles de millones de dólares, además de que está en juego la vida de tres hombres si la computadora llega a fallar. Aquí no se puede, de ningún modo, estar dispuesto a aceptar una probabilidad de error del 5%, ni siquiera del 1%. Se haría todo lo posible por garantizar el máximo de confiabilidad de ese componente, incluso instalando elementos redundantes, duplicados, entre otros, de tal modo que si uno de ellos falla al menos uno de los otros desempeñe la función.

En este caso se buscaría probabilidades de error, no de 1% sino de uno en un millón o si se puede aún, más pequeñas. La diferencia fundamental entre este caso y el de la elección entre las dos bebidas radica en el costo del error; en el de las bebidas el costo del error es despreciable, pero en este segundo caso, un error sería de inmensas consecuencias.

Si se regresa al Caso 2, toda la argumentación anterior conduce a sugerir que los resultados de un experimento no se deberían echar a la basura sólo porque no se obtuvo ese mágico 5% de nivel de significancia, sin haber hecho antes un análisis del riesgo y del costo de un error, en caso de dar una recomendación equivocada.

Por ejemplo, si se supone que la probabilidad de error no es del 5% sino del 6% o del 7%. ¿Es eso suficiente para descartar por completo los resultados del experimento sin atreverme a dar ninguna clase de recomendación? ¿y si fuera de 10% o del 15%?

Exagerando un poco, ¿qué tal si, por ejemplo, con una probabilidad de error del 15% los rendimientos de frijol fueran mayores en 50 kg a cambio de un aumento en la inversión de sólo \$800.00? (por intuición me inclinaría a pensar que tengo 85% de probabilidades a favor mucho menos favorables son las probabilidades que enfrento cuando compro una boleta en una rifa de un bazar o del colegio de mis hijos).

Cuando el costo de un error es relativamente bajo, yo me sentiría inclinado a ensayar el nuevo tratamiento, aún cuando las probabilidades de error no estén dentro del convencional 5%, pues de todos modos es poco lo que se arriesga. Otra cosa sería si para obtener esos 50 kg adicionales tuviera que arriesgar una inversión, por decir, de \$30.000. Aquí hay que andar con mucha cautela; las mismas Consideraciones son aplicables para el Caso 15.

#### 9.4 Análisis Económico de un Experimento con Varios Tratamientos

Los datos del siguiente experimento permitirán introducir algunos conceptos y metodologías útiles para el análisis económico de los resultados de investigación (Tabla 1).

En este experimento se estudia la posibilidad de introducir cuatro factores como modificaciones a la tecnología del agricultor: Para la variedad regional, Limoneño, se plantea la posibilidad de introducir la variedad BA T 1285; además se plantea la introducción de prácticas de control de enfermedades y fertilización, así como el aumento en la densidad de siembra.

**Tabla 1.** Rendimiento promedio de frijol en tres fincas en Nariño

TRATAMIENTO		Variedad Limoñedo		Variedad BAT 1285	
		Sin control Enfermedades	Con control Enfermedades	Sin control Enfermedades	Con control Enfermedades
Sin fertilización	Densidad del Agricultor	693	902	557	784
	Densidad mejorada	701	1.009	516	679
Con fertilización	Densidad del Agricultor	918	1.111	846	970
	Densidad mejorada	1.087	1.174	755	1.016

Para iniciar el análisis de estos resultados, preguntémosnos, ¿cómo cambiarían los rendimientos si a la tecnología del agricultor se le agregara uno sólo de estos componentes tecnológicos?

Tecnología del Agricultor

+ Variedad = -136

+ Densidad = 8

+ Fertilización = 225

+ Control Enfermedades = 209

Si se escoge la fertilización como la práctica de más impacto individual, pues se traduce en un aumento de 225 kg., y luego se hace de nuevo la pregunta: ¿Cómo cambiarían los rendimientos si se introduce, una segunda práctica? después de la fertilización.

(Tec. Agric. + Fertiliz.)

+ Variedad = -72

+ Densidad = 169

+ Control Enfermedades = 193

Al adicionar el control de enfermedades después de la fertilización, se tienen 193 kg adicionales, es decir, la fertilización y el control de enfermedades combinados agregan 418 kg (225 + 193) a los rendimientos. Tomando una tercera práctica, se tendría:

(Tec. Agr. + Fert. + Control Enf.)

+ Variedad = -141

+ Densidad = 63

El aumento en la densidad de siembra, entrando en tercer lugar, agregaría 63 kg adicionales, es decir, al introducir estas tres prácticas a la tecnología del agricultor, los rendimientos cambiarían en total en 481 kg.

¿Qué pasaría si la cuarta práctica, cambio de la variedad, se introdujera? En este caso el efecto sería negativo, las cuatro prácticas combinadas sólo aumentan los rendimientos en 323 kg, o sea, que hay una pérdida en rendimientos de 158 kg en comparación con el caso de tomar sólo tres de los componentes del «paquete tecnológico», sin incluir la variedad.

Este ejemplo permite ilustrar la importancia de analizar los componentes de un paquete tecnológico, y no limitarse a evaluar el paquete como un todo.

¿Cambiaría el orden de entrada de los componentes del paquete si en lugar del aumento en rendimientos se utilizara otro criterio, como por ejemplo la rentabilidad del capital que es necesario invertir para incorporar el respectivo componente (es decir, la rentabilidad marginal o tasa de retorno marginal)? Probablemente sí, pues como se pudo ver, los diferentes componentes hacen aportes diferentes a los rendimientos, los cuales no necesariamente están en proporción directa a sus respectivos costos.

Componentes poco costosos pueden, con frecuencia, hacer aportes a los rendimientos mayores, en proporción, con otros más costosos, pudiéndose dar inclusive el caso de que uno que aporta a los costos, es negativo en cuanto a su aporte a los rendimientos, como sucede en el caso que se discute con relación al cambio de variedad.

Aquí fallan muchos estudios de adopción de tecnología cuando, al tratar de construir un índice de adopción, le asignan a cada componente de un paquete tecnológico un puntaje igual al asignado a los demás, como si todos los hicieran aportes iguales a los rendimientos ya los costos.

Si se mirara el proceso tecnológico como la incorporación secuencial de elementos, que a la larga conformarán lo que llamamos «el paquete tecnológico», se podría observar que los primeros elementos en ser incorporados hacen una contribución relativamente grande a los rendimientos, pero a medida que se van incorporando más elementos, las contribuciones de éstos a los rendimientos van siendo cada vez más pequeñas.

Este fenómeno está conforme con la denominada Ley de Pareto, que dice que en un proceso en el cual intervienen una serie de elementos, por lo general, sólo unos pocos, explican la mayor parte de la variabilidad del proceso.

La consecuencia práctica de esta Ley estriba, entonces, en que no es necesario hacer el esfuerzo por identificar y optimizar en forma absoluta todos los componentes de un «paquete tecnológico», sino que constituye un uso más eficiente de los limitados recursos de investigación el concentrarse en identificar y mejorar los pocos elementos críticos que tienen un impacto importante en el proceso. Igual puede decirse con relación a los recursos aplicados a la labor de extensión.

Si se van a evaluar los componentes no, en términos de contribución al aumento en los rendimientos, sino en términos de tasa de retorno marginal, y se pregunta de nuevo, ¿si se fuera a recomendar sólo una de las prácticas, cuál de ellas se recomendaría primero? Para responder a esta pregunta es necesario calcular la tasa de retorno marginal para el caso de la introducción individual de cada una de las prácticas del paquete.

En la Tabla 2 se presentan las etapas de este cálculo, así como la utilidad neta que quedaría al agricultor después de pagar los costos del capital. Como se puede ver, (Paso 1), al agregar una sola práctica, la más alta rentabilidad se obtiene si se introduce primero el control de enfermedades (aunque el cambio más alto en los rendimientos se obtenía al introducir la fertilización).

Componentes	Cambio en rendimiento	Cambio ingreso bruto	Cambio en costo	Cambio en utilidad bruta	Tasa retornomarginal	Cambio en utilidad neta
<b>Punto de partida:</b>						
Tec, Agricultor	693					
<b>Paso 1</b>						
(Tec. Agr.) + Fert	225	180 000	105 000	75 000	71.43%	48750
(Tec. Agr.) + C.E.	209	167 200	90 000	77 200	85.78%	54 700
(Tec. Agr.) + Dens.	8	6 400	36 000	negativo	negativa	negativo
(Tec. Agr.) + Var	negativo					
<b>Paso 2</b>						
(Tec. Agr.) + Fert	209	167 200	105 000	62 200	59.24%	35 950
(Tec. Agr.) + Dens.	107	85 600	36 000	79 600	137.78%	5 600
(Tec. Agr.) + Var	negativo					
<b>PASO 3</b>						
(T.Agr+C.E + Dens.)+Fert.	165	132 000	105 000	27 000	25.71%	750

**Cambio en costos:** costos del tratamiento en insumos y mano de obra, pero sin incluir costos del capital (intereses)

**Cambio en utilidad bruta:** cambio en ingreso bruto menos costos del tratamiento, pero sin descontar los costos del capital.

**Costos del capital:** el costo de oportunidad o los intereses que hay que asumir por el uso del capital durante el período de producción. Se asume para este ejemplo un costo de 25 % semestral.

**Otros costos:** para fines de este ejemplo se asumió que la práctica de fertilización tiene un costo (insumos y mano de obra) de \$105000 por hectárea; la práctica de control de enfermedades un costo de \$90000 por hectárea; el cambio de densidad de siembra un costo de \$36000 por hectárea. No es necesario asumir un costo para el cambio de variedad, por cuanto sus efectos siempre resultaron negativos.

**Ingreso bruto:** El valor de la producción, donde el precio de campo es de \$ 800 por kg de frijol.

En el Paso 2, se examina el efecto de introducir un componente adicional al seleccionado en el primer paso. En este caso, lo más rentable, como segunda introducción, sería el cambio en densidad, lo cual implicaría en forma automática que se debe recomendar la introducción de esta práctica? Aquí la adhesión ciega al criterio de rentabilidad puede extraviar el camino para buscar el mejoramiento de los ingresos del productor. Al introducir un nuevo elemento tecnológico entran a jugar no sólo el aporte individual del elemento, sino las interacciones con los que ya habían entrado. Y esas interacciones pueden hacer cambiar el orden de los factores. Se observa, cómo la densidad, cuando se introducía en primer lugar, sólo provocaba un aumento de ocho kilogramos en los rendimientos, pero al introducirse después del control de enfermedades, en interacción con éste, se traduce en un aumento de 107 kg.

En consecuencia, es necesario, antes de tomar una decisión, explorar otras combinaciones, y específicamente en este caso, la combinación de fertilización + densidad, que habría quedado excluida en el simple análisis secuencial. (No es necesario explorar combinaciones que incluyan el cambio de variedad, porque en todos los casos y en todas las combinaciones el efecto de variedad fue negativo. Tabla 7). Un procedimiento más eficiente que el análisis secuencial, que evita el error de pasar por alto estas interacciones es el método desarrollado por el CIMMYT, que se expondrá más adelante en el punto 9.5.

La combinación fertilización -densidad, dada la interacción entre los dos elementos, mucho mayor que la interacción entre control de enfermedades y densidad, produce un aumento de 394 kg en los rendimientos (CE+ densidad sólo los incrementaba en  $209 + 107 = 316$  kg).

Para esta combinación, Fert.+Dens, el ingreso bruto aumenta en \$315.200; el costo (inversión) en \$ 141.000; la utilidad bruta en \$ 174.200 y la utilidad neta después de pagar 25 % de intereses a la inversión es de \$ 138.950. La rentabilidad combinada es del 123.55 %.

Si se regresa al Paso 2, cabe anotar que aunque la rentabilidad marginal de introducir la densidad es más alta, 137.8 %, esta rentabilidad sólo se aplica a los \$36.000 que requiere de inversión, y es necesario, al combinar, promediarla (en forma ponderada) con la del control de enfermedades, que es del 85.8 % sobre una inversión mayor. En conjunto, las dos prácticas dan una rentabilidad combinada del 100.6 % y una utilidad neta de \$95.300 después de descontar el 25% de intereses sobre la inversión.

### **Análisis Marginal para Seleccionar la Recomendación Óptima. Metodología del CIMMYT**

#### **El presupuesto parcial. Conceptos básicos**

El propósito de un ensayo de ajuste de tecnología es ofrecer al agricultor recomendaciones adaptadas a sus condiciones. Por lo general, éstas no implicarán cambios radicales en su sistema de cultivo ni una reorganización total de la finca. En estas condiciones, para su evaluación económica no será necesario tener en cuenta todo el sistema de cultivo, lo cual podría complicar innecesariamente el análisis. En la mayoría de los casos es suficiente examinar sólo los aspectos que cambiarían debido a la recomendación, considerando constantes las demás prácticas y costos del cultivo.

Si se trata de un agricultor que cultiva frijol, por ejemplo, se presume que ya ha tomado la decisión de sembrar y está dispuesto a incurrir en los costos normales del cultivo de acuerdo con su patrón tecnológico, basado de alguna forma, en un análisis de los costos e ingresos esperados según ese patrón tecnológico.

Lo que preocupa entonces en este momento, no es un análisis global de la rentabilidad de este cultivo, sino es rentable hacer un cambio en este patrón tecnológico, cambio que afectará únicamente algunos aspectos de su sistema total, permaneciendo fijo todo lo demás.

El cambio de algún aspecto de la tecnología requerirá, probablemente, un aumento en la cantidad de algunos insumos, o incorporar otros que antes no se usaban; a la vez, puede permitir la disminución o supresión de otros insumos; o podrá modificar en forma positiva o negativa la cantidad de mano de obra requerida, o cambiar su distribución en el tiempo, atenuando o agravando la presión en las épocas críticas de labores, entre. Todos estos movimientos implican también cambios en algunos de los componentes de los costos de producción.

Los costos asociados con la decisión se denominarán en este contexto «costos variables», CV, mientras que aquellos que no son afectados por la decisión se denominarán «costos fijos». Se debe tener en cuenta que estos costos fijos no afectan la decisión, porque se incurrirá en ellos de todas maneras, independientemente de la decisión que se tome. Sin embargo, la utilidad neta del cultivo sí estará afectada, lo cual es materia de análisis en relación con la decisión de si conviene o no, cultivar frijol, mientras que aquí se asume que esa decisión ya está tomada y sólo se pregunta si vale la pena hacer un cambio en el sistema de cultivo.

En la Tabla 3, se presentan en forma abreviada los cálculos de presupuesto parcial para los datos de rendimiento presentados en la Tabla 1. La expresión «presupuesto parcial» indica que no todos los costos de producción, ni tampoco todos los beneficios, se incluyen en el presupuesto, sino aquellos que son pertinentes a la decisión. Para el cálculo del presupuesto parcial se hace una hoja de balance en la cual se incluye todo costo que será afectado por el cambio, así como todo rubro de ingresos.

**Tabla 3.** Calculo del presupuesto parcial. Datos del experimento de frijol en tres fincas. Nariño. Miles de pesos

TRATAMIENTO	A	AC	AF	AD	AV	ACF	ACD	ACV
Rendimiento	693	902	918	701	557	1.111	1.009	784
Rendimiento Ajustado	693	902	918	701	557	1.111	1.009	784
Beneficio Bruto de Campo	554.4	721.6	734.4	560.8	445.6	888.8	807.2	627.2
COSTOS VARIABLES								
Fertilización			105			105		
Control Enfermedades		90				90	90	90
Cambio Densidad				36			36	
Cambio Variedad					36			36
TOTAL COSTOS VARIABLES	0	90	105	36	36	195	126	126
BENEFICIO "NETO" PARCIAL	554.4	631.6	629.4	524.8	409.6	693.8	681.2	501.2
TRATAMIENTO	AFD	AFV	ADF	ACFD	ACFV	ACDV	AFDV	ACDFV
Rendimiento	1.087	846	516	1.174	970	679	755	1.016
Rendimiento Ajustado	1.087	846	516	1.174	970	679	755	1.016
Beneficio Bruto de Campo	8699.6	676.8	412.8	939.2	776	543.2	604	812.8
COSTOS VARIABLES								
Fertilización	105	105		105	105		105	105
Control Enfermedades				90	90	90		90
Cambio Densidad	36		36	36		36	36	36
Cambio Variedad		36	72		36	72	72	72
TOTAL COSTOS VARIABLES	141	141	108	231	231	198	213	303
BENEFICIO "NETO" PARCIAL	728.6	535.8	304.8	708.2	545	345.2	391	509.8

En la preparación del presupuesto parcial de esta tabla se utilizaron algunos conceptos cuya definición se presenta a continuación'

**Rendimiento neto ajustado:** El rendimiento por hectárea medido en el campo, menos las pérdidas de cosecha y de almacenamiento en la finca previo a su venta (cuando éstas son aplicables).

**Precio de campo:** El valor para el agricultor de una unidad adicional de producción en el campo antes de la cosecha. Para los agricultores que venden productos en el mercado será importante el precio monetario de campo, que es el precio del producto en el mercado menos los costos de cosecha, almacenamiento en la finca, transporte y comercialización. Por otra parte, para los agricultores que consumen directamente la cosecha (autoconsumo), el precio relevante es el de oportunidad de campo, o sea aquel que la familia del agricultor tendría que pagar para adquirir y transportar hasta la casa una unidad adicional del producto para el consumo. Para el cálculo de la Tabla, se asumió un precio de campo del frijol de \$800 por kg.

**Beneficio bruto de campo:** Es la suma de los resultados de multiplicar cada producto por su respectivo precio de campo. Esta suma puede incluir beneficios monetarios o beneficios no monetarios (de oportunidad) o ambos.

**Precio de campo de un insumo:** Es el gasto total en el cual es preciso incurrir para traer una unidad adicional del insumo al campo. El precio monetario de campo se refiere a los valores en dinero, tales como precio de compra y otros gastos directos como transporte, empaques, entre otros. El precio de oportunidad de campo se refiere al valor no monetario del insumo involucrado cuando éste no se compra con dinero; es el valor del insumo en su mejor uso alternativo. Para la mano de obra familiar el precio de oportunidad de campo podría ser el salario esperado de un empleo fuera de la finca, si esta oportunidad existiera (ver 7.3: El costo de la mano de obra), o el valor del tiempo que dedicara a otra actividad alternativa en la finca, o el valor que el trabajador da al ocio o al descanso.

**Costo de campo de un insumo:** Es el precio de campo del insumo multiplicado por la cantidad de ese insumo que varía con la decisión. Pudiera expresarse como costo monetario o como costo de oportunidad de campo, dependiendo del insumo de que se trate.

**Costo total de campo o costo variable:** La suma de los costos de campo de todos los insumos afectados por la decisión. En el presupuesto parcial se tienen en cuenta únicamente aquellos insumos que son afectados por la decisión, de tal manera que el costo total de campo en este contexto se refiere a los costos variables, es decir, aquellos que son afectados por la decisión.

**Beneficio neto parcial:** Es el beneficio bruto de campo menos el total de costos variables; la cifra de beneficio neto parcial pretende presentar el valor que el agricultor otorga a la producción adicional menos el valor que otorga a aquellos Basado, con algunas modificaciones, en Perrin et al. (1976). Insumos que debe emplear para lograr esa producción adicional. No se debe confundir este concepto con el de utilidad neta o ganancia del cultivo, pues aquí interesa solamente el impacto de un cambio parcial en ésta y no su totalidad.

### **El análisis marginal**

En las secciones anteriores se discutieron algunos conceptos básicos y la forma de elaborar un presupuesto parcial, que permite determinar la magnitud de los costos y beneficios que implica hacer un cambio en el sistema de cultivo.

Si el capital no fuera limitado, y si no tuviera un costo (medido en la forma de una tasa de interés), la alternativa lógica sería la que ofrece el mayor beneficio neto parcial. Sin embargo, como ya se ha mencionado, el capital es con frecuencia el recurso más limitante, por lo cual, ante una variedad de alternativas para seleccionar, es necesario asegurarse de hacer un uso eficiente del capital disponible.

En esta sección se seguirá, con algunas modificaciones, la metodología propuesta por el Cimmyt (Perrin et al, 1976).

En la Tabla 4 se han arreglado los tratamientos expuestos en la Tabla 3 en orden descendente según los beneficios netos parciales. Al frente de cada beneficio neto parcial se presenta el costo variable correspondiente.

Parece evidente que algunas de las alternativas presentadas serían difícilmente escogidas por los agricultores. Por ejemplo, todos los tratamientos que incluyen el cambio de variedad (V) tienen costos variables mayores que la tecnología del agricultor (A) y sus beneficios son menores.

A estos tratamientos se les denomina alternativas dominadas. Lo mismo se aplica al tratamiento AD (cambio de densidad), que es también dominada por la tecnología del agricultor. El tratamiento AF es dominado por el tratamiento AC por cuanto tiene costos variables mayores que éste, a la vez que menores beneficios. De la misma manera el tratamiento ACD, es dominado por ACF y ACFD es dominado por el tratamiento AFD. Todos los tratamientos dominados se eliminan y no se tienen en cuenta en los análisis subsiguientes.

En las columnas cuarta y quinta de la Tabla 4 se presentan los incrementos marginales en beneficio neto parcial y en costo variable. Estos se obtienen restando del beneficio neto parcial y del costo variable del tratamiento, los correspondientes valores del tratamiento no dominado inmediatamente inferior. Como debajo del tratamiento AFD, que es el que presenta el mayor beneficio neto

parcial, sólo hay tres tratamientos no dominados, entonces sólo habrá tres pares de incrementos marginales.

Cuando el capital es escaso y costoso, un criterio de decisión lo proporciona la rentabilidad que se obtenga de la inversión. La rentabilidad marginal (o tasa de retorno marginal) para un incremento determinado es el incremento en el beneficio neto parcial (beneficio neto marginal) dividido por el incremento en el costo variable (costo marginal). Así, la tasa marginal de retorno para los primeros \$90.000 adicionales en gasto al introducir el control de enfermedades, tratamiento AC (suponiendo que se toma como punto de partida el tratamiento no dominado más bajo en la lista, en este caso el testigo del agricultor) se calcula

**Tabla 4.** Análisis de dominancia y cálculo de la tasa de retorno marginal. Datos del experimento de fríjol en tres fincas. Nariño.

TRATAMIENTO	BENEFICIO NETO PARCIAL	COSTO VARIABLE	BPN INCREMENTO	MARGINAL CV	TASA DE RETORNO MARGINAL
AFD	728 600	141 000	34 800	16 000	217.5%
ACFD	728 200*	231 000			
ACF	693 800	125 000	62 200	35 000	177.7%
ACD	681 200	126 000			
AC	631 600	90 000	77 200	90 000	85.78%
AF	629 400*	105 000			
A	554 000*	0			
ACFV	545 000	231 000			
AFV	535 800*	141 000			
AD	524 800*	36 000			
ACFDV	509 800*	303 000			
ACV	501 200*	126 000			
AV	409 600*	36 000			
AFDV	391 000	213 000			
AFDV	345 200	198 000			

ADV	304 800*	108 000			
-----	----------	---------	--	--	--

\* Tratamiento

como sigue:

$$\frac{77.200(\text{BNM})}{90.000 \text{ (costo marginal)}} = 0.8578 \text{ es decir, } 85.78\%$$

BNM: beneficio neto marginal

Si el agricultor estuviera dispuesto a invertir \$ 35.000 adicionales podría, en cambio, utilizar la combinación ACF, obteniendo una rentabilidad marginal del 177.7% por estos \$ 35.000 adicionales. (Combinando los dos pasos estaría invirtiendo  $90.000 + 35.000 = 125.000$ , para un beneficio neto marginal combinado de  $77.200 + 62.200 = 139.400$ , con lo cual la rentabilidad combinada de pasar de A a ACD sería de  $139.400/125.000 = 1.1152$ , es decir, 111.52%.

Todavía se puede plantear la pregunta de si vale la pena invertir \$16.000 adicionales para seleccionar el tratamiento AFD. Estos \$16.000 de inversión adicional permiten incrementar el beneficio neto en \$34.800, lo cual implica para estos últimos \$16.000 una rentabilidad marginal de 217.5%. La rentabilidad combinada (promedio) de todo el cambio, pasando desde A hasta AFD sería entonces de  $(77.200 + 62.200 + 34.800) / (90.000 + 35.000 + 16.000) = 174.200 / 141.000 = 1.2355$ , es decir, 123.55%.

¿Cuál es el criterio para seleccionar la mejor entre estas alternativas? El procedimiento se basa en una comparación de las tasas marginales de retorno con el costo del capital (bien sea la tasa de interés del mercado que sea aplicable o el costo de oportunidad del capital).

Si se supone que este costo del capital se puede estimar en 25% semestral, la elección óptima lleva a escoger el tratamiento que ofrezca el más alto beneficio neto parcial compatible con una tasa marginal de retorno no inferior al 25%.

En este caso se trata de la combinación AFD. Nótese sin embargo (y ésta es una aclaración muy importante), que el tratamiento AFD se escogería según este criterio no por ofrecer la más alta tasa de retorno marginal (217.5%) que sólo se aplica sobre los últimos \$ 15.000 de inversión, sino por ofrecer el más alto beneficio neto parcial sin que su tasa de retorno marginal llegue a caer por debajo del 25%. Para una inversión acumulada (o costo variable) de \$141.000, que ten-

dría un costo de interés de  $\$141.000 \cdot 0,25 = \$35.250$  se obtendría una utilidad neta (parcial) de  $\$ (47.400 + 49.600 + 77.200) - 35.250 = \$138.950$ , después de descontar los costos de capital.

Para facilitar la comprensión de este Último punto se presenta a continuación un ejemplo hipotético (Tabla 5).

**Tabla 5.** Ejemplo de análisis marginal (datos ficticios). Selección del tratamiento óptimo económico.

TRATAMIENTO	BENEFICIO NETO PARCIAL	COSTO VARIABLE	INCREMENTO MARGINAL BNP	INCREMENTO MARGINAL COSTO VARIABLE	TASA RETORNO MARGINAL	COSTO CAPITAL (Interés 25 %)	BNP DESPUÉS DE PAGAR INTERESES
L	2.250.000	866.9	30	259	11.58%	216.725	2.033.275
D	2.220.000	607.9	20	105	19.05%	151.975	2.068.025
K	2.200.000	502.9	20	70.6	22.32%	125.725	2.074.275
J	2.180.000	432.3	50	67	74.63%	108.075	2.071.925
I	2.130.000	365.3	10	55.8	17.92%	91.325	2.038.675
E	2.120.000	309.5	100	111.2	89.93%	77.375	*
TESTIGO*	2.110.000	358	*	*	*	*	
C	2.020.000	198.3	90	53	169.81%	49.575	1.970.425
B*	1.950.000	215	*	*	*	*	*
F	1.930.000	145.3	80	25.3	316.21%	36.325	1.893.675
H	1.850.000	120	----	----	----	30	1.820.000
G*	1.780.000	180	*	*	*	*	*

En esta tabla se examinan los tratamientos no dominados, empezando por el más bajo en el orden de beneficios netos, el H, se observa que el cambio al siguiente, el F, proporciona un retorno de 316.21 %. Un paso más, hasta el tratamiento G, da un retorno de 169.81 %. El siguiente paso, hasta el E, da un retorno de 89.93 %.

Al pasar al tratamiento I, ya el retorno no cumpliría el requisito de estar por encima del costo del capital, estimado (para fines de este ejercicio) en 25 %. ¿Significa esto que se debe parar entonces en el tratamiento E, puesto que el siguiente paso ya no es rentable? Éste sería el caso si más arriba en la columna no se presentara ningún retorno por encima del 25 %. Según la tabla, el tratamiento J tiene un retorno de 74.63 %.

Se debe examinar si al promediar este retorno (ponderadamente) con el retorno anterior se obtiene, al saltar de E a J (saltando por encima de I), un retorno superior al 25 % que es nuestro criterio de decisión.

$$10.000 + 50.000 \text{ (incr. marg. en BNP)} = 0.4886, \text{ es decir, } 48.86 \%$$

---

$$55.800 + 67.000 \text{ (incr. marg. en CV)}$$

Esta tasa de retorno es superior al 25%, por lo cual sí se justifica dar el salto hasta el tratamiento J. El siguiente paso, hasta el tratamiento K, todavía está justificado según nuestro criterio de decisión, pues ofrece una rentabilidad marginal del 28.3%, suficiente para cubrir un costo de capital del 25% y dejar todavía un pequeño remanente. Sin embargo, la decisión final debe tener también en cuenta consideraciones de riesgo.

Los siguientes pasos hacia arriba, tratamientos D o el L, ya no se justifican económicamente, pues son movimientos que no compensan los costos de la inversión adicional requerida. Esto puede ser corroborado mirando la última columna de la Tabla 4, en la cual se presentan los beneficios netos parciales después de descontar los costos de la inversión. El tratamiento que ofrece los más altos beneficios netos parciales es el mismo tratamiento K que se había seleccionado haciendo uso del criterio de la tasa de retorno marginal.

La utilidad neta del cultivo se obtiene restándole al beneficio neto parcial (después de descontar los costos de la inversión adicional), los costos fijos. Si, por ejemplo, los costos fijos fueran de \$ 1 '200.000, la utilidad neta sería de \$ 874.275 para el tratamiento K, y ésta sería la elección que daría la más alta utilidad neta. De nuevo se observa que el tratamiento F, que presentaba la tasa de retorno marginal más alta no es la elección óptima, pues sólo daría un beneficio neto parcial (después de costos de capital) de \$ 1 '893.675, y al descontar los costos fijos dejaría una utilidad neta de sólo \$ 693.675.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

**PANTOJA L., C; VILLOTA M., M y SANTACOLOMA O., D. 1985.** Manual metodológico del proceso de ajuste de tecnología agrícola. ICA, Tibaitatá, Bogotá, Colombia. (Documento de Trabajo 01-6-231-86). p. 145.

**PERRIN, R. H., et al. 1976.** Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. Un manual metodológico de evaluación económica. México, Centro Internacional de Mejora- miento de Maíz y Trigo CIMMYT. 54 p.